

# Desfasador Diferencial 90° Compacto de Banda Ancha en Guía de Onda.

Jaime Cagigas, Juan Luis Cano, Eduardo Artal.

cagigasij@unican.es, canojl@unican.es, artale@unican.es.

Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria.

Edificio Ingeniería de Telecomunicación Profesor José Luis García García.

Plaza de la Ciencia s/n, 39005 Santander. Cantabria.

**Abstract-** A compact differential phase shifter structure that exhibits a full-band operation and easy mechanical manufacture is presented. It consists of a rectangular waveguide loaded with continuous senoidal ridge section and corrugations. A prototype of 90° differential phase shifter with reference to an empty waveguide of the same length was designed and tested for the WR22 waveguide band. Moreover, manufacturing tolerances have been taken into account in order to analyse the impact in the electrical performance. The differential phase shifter reveals an excellent behaviour with an average phase shift of  $88^\circ \pm 3^\circ$ , return losses better than 20 dB and insertion losses better than 0,1 dB over a 50% bandwidth (30-50 GHz).

## I. INTRODUCCIÓN

Los desfasadores son componentes importantes en diversos sistemas de comunicaciones como pueden ser sistemas por satélite o radares entre otras aplicaciones.

En este caso este desfasador se empleará en un receptor de radioastronomía o radiómetro, el cual se destinará a la caracterización de la polarización de la radiación de fondo cósmico de microondas (CMB). Los receptores que se emplean para estas medidas necesitan una gran sensibilidad debido a los bajos niveles de señal que llegan a él. En este receptor existen partes donde se emplean desfasadores diferenciales, entre ellos desfasadores de 90°, para obtener los parámetros de Stokes (Q, U e I) y poder, a partir de diferentes combinaciones de éstos, estudiar la polarización del CMB, anteriormente mencionada.

Un desfasador es un dispositivo que consigue una diferencia de fase constante empleando dos caminos distintos, donde uno de ellos se considera como fase de referencia ( $\varphi_{Ref}$ ), de forma que la diferencia de fase con la otra rama es el desfase que se consigue ( $\Delta\varphi$ ). Este cambio de fase se consigue fácilmente cambiando la longitud eléctrica de la línea. (La longitud eléctrica de una línea es igual a  $2\pi l/\lambda_w$ , donde  $l$  es la longitud geométrica de la línea y  $\lambda_w$  es la longitud de onda en la línea).

La mayor parte de los desfasadores son recíprocos, lo que quiere decir que trabajan de forma eficaz con señales que pasan en ambas direcciones, pudiendo ser controlados eléctricamente, magnéticamente o mecánicamente.

En la bibliografía se encuentran diferentes referencias donde se han desarrollado gran número de estos dispositivos basados en guía de onda, los cuales emplean en gran medida materiales dieléctricos, ferritas, corrugaciones, stubs o ridges escalonados [1]-[6]. Sin embargo, este tipo de desfasadores presentan desventajas, como pueden ser, altos costes y

diseños complicados en cuanto a fabricación, o desfasadores diferenciales con una banda de frecuencia muy estrecha.

En numerosas ocasiones es necesario un diseño sólido que proporcione un ancho de banda significativo, que tenga un coste relativamente bajo, lo que suele llevar implícito que se trate de un dispositivo de fácil construcción, y que la longitud de las dos líneas empleadas para obtener el desfase sea idéntica, debido a limitaciones mecánicas del sistema en el que se integra. En nuestro caso en particular, debido a las restricciones mecánicas que existen en la cadena del receptor, es necesario emplear guías con idéntica longitud y diferente retardo. Una posible solución a este problema es cambiar la constante de propagación de cada guía, cargándola con elementos localizados o distribuidos. Es decir si  $\beta_1$  es la constante de propagación de la guía vacía, la de referencia, y  $\beta_2$  es la constante de propagación de la guía cargada con la estructura propuesta, el desfase diferencial obtenido ( $\Delta\varphi$ ) es determinado por la ecuación (1).

$$\Delta\varphi = (\beta_1 - \beta_2) \cdot L \quad (1)$$

Donde  $L$  es la longitud de cada guía. Desfasadores con estas características y que simultáneamente logren un gran ancho de banda relativo no se encuentran en la literatura.

En este trabajo se presenta el diseño de un desfasador de 90°, mediante el empleo de una sección ridge suave de tipo senoidal en tecnología de guía de onda rectangular con bajo coste, y que permite obtener este desfase con respecto a una guía de onda de la misma longitud en un gran ancho de banda, alrededor del 50%. Este desfasador formará parte del receptor que se empleará en el proyecto EPI [7] en el que participan los autores.

## II. DISEÑO

El diseño de este desfasador está fundamentado en un desfasador tipo ridge escalonado, el cual incluye una serie de escalones en una cara de la guía, similar al que se puede ver en la Fig. 1, diseño que se describe en [8]. En este caso al escalar el diseño a la banda Q, las dimensiones resultantes de la sección escalonada son demasiado pequeñas y por tanto críticas, por lo que el proceso de mecanización será muy dificultoso y de coste elevado.

Debido a estas restricciones, se pensó en otro posible diseño de desfasador diferencial basado en este mismo concepto, en este caso se emplea una sección ridge continua de tipo senoidal, cuyo proceso de fabricación, explicado en la sección III, es menos complejo y de un coste mucho menor. El desfasador se ha diseñado y optimizado con el simulador

electromagnético CST Microwave Studio, partiendo de unas dimensiones similares a las que se obtienen al escalar el desfaseador de la Fig. 1 a la banda de trabajo deseada.

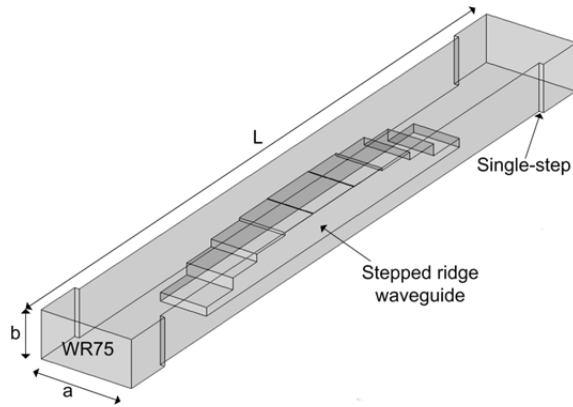


Fig. 1. Desfaseador diferencial empleando una sección ridge escalonada.

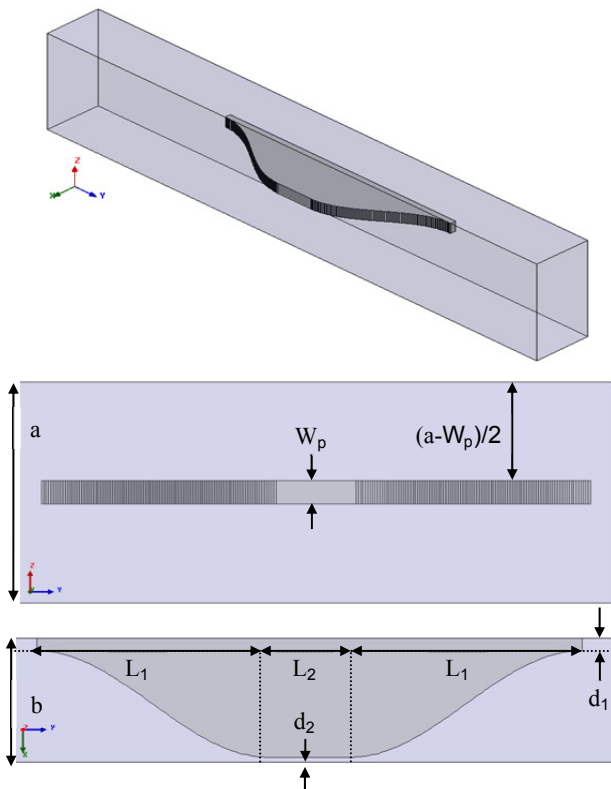


Fig. 2. Desfaseador diferencial, sección ridge continua de tipo senoidal.

El diseño se realiza en la banda de 30 a 50 GHz, por lo que se emplea la guía de onda WR-22 ( $b = 2,85$  mm;  $a = 5,7$  mm). La lámina metálica introducida en la guía es de forma senoidal. La respuesta del diseño se ha optimizado variando las dimensiones ( $d_1$ ,  $d_2$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  y  $W_p$ ) mostradas en la Fig. 2. La diferencia de fase obtenida toma como referencia una guía de onda estándar WR-22 vacía y de la misma longitud que la guía cargada con la lámina.

Dimensiones	
Parámetro	Valor (mm)
$W_p$	0,600
$d_1$	0,280
$d_2$	0,120
$L_1$	5,377
$L_2$	1,834

Tabla 1. Dimensiones de la sección ridge continua de tipo senoidal.

En la Tabla 1 se muestran los valores obtenidos para los parámetros incluidos en la optimización realizada con el software CST.

En la Fig. 3 se muestran los resultados de la simulación de la estructura de la Fig. 2 para dichos valores obtenidos por la optimización. Se puede observar que se logran unan bajas pérdidas de inserción y una adaptación mejor de 20 dB en toda la banda, para la rama desfasadora. El desfase conseguido con respecto a la rama de referencia está centrado más o menos en  $90^\circ$ , obteniendo un error máximo de  $4^\circ$  en valor absoluto.

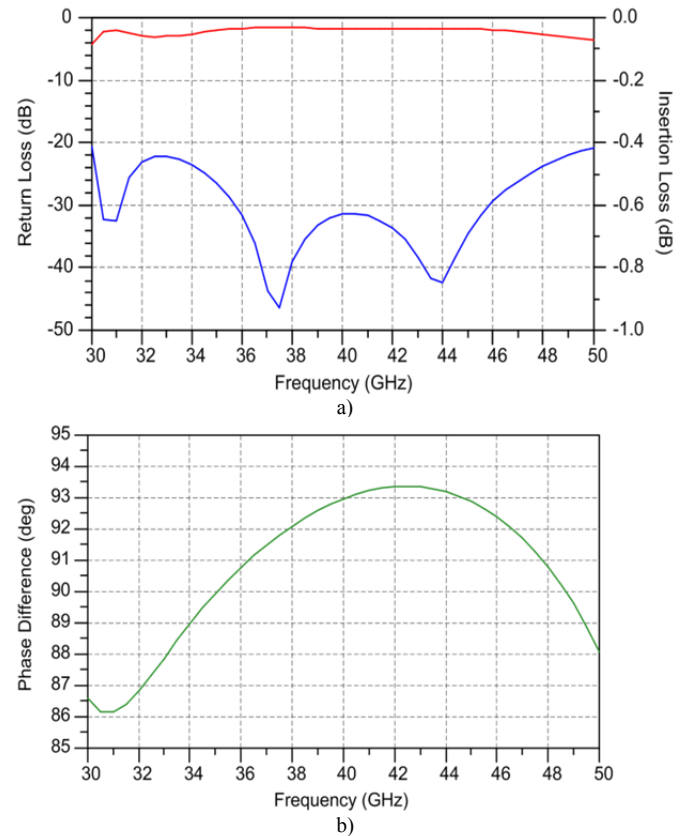


Fig. 3. Respuesta del Desfaseador con sección ridge senoidal. a) Pérdidas de Retorno y de Inserción (RL - blue line; IL - red line). b) Diferencia de Fase.

Los valores de los parámetros que se obtienen en la optimización y que se muestra en la Tabla 1, desvelan que existe alguna dimensión muy crítica como puede ser  $d_2$ , por lo que se decide re-optimizar estos parámetros en un segundo diseño.

En esta segunda propuesta se consigue reducir el error en fase y mejorar la adaptación en la banda de 30 a 50 GHz. Para ello se introducen unas pequeñas corrugaciones hacia el interior de la guía, en la cara opuesta donde se encuentra la sección senoidal, tal y como se muestra en la Fig. 4. Se consideran los mismos parámetros que en el caso anterior, añadiendo tres nuevos parámetros correspondientes a estas corrugaciones ( $L_3$ ,  $L_s$  y  $W_s$ ).

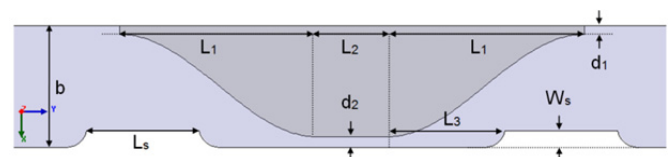


Fig. 4. Desfaseador realizado mediante una sección ridge continua de tipo senoidal y corrugaciones.

En la Tabla 2 se muestran los valores obtenidos para cada parámetro una vez optimizada la respuesta del segundo diseño. Las dimensiones siguen siendo pequeñas pero menos críticas que en el caso anterior.

Dimensiones			
Parámetro	Valor (mm)	Parámetro	Valor (mm)
$d_1$	0,205	$L_3$	1,610
$d_2$	0,245	$L_s$	2,780
$L_1$	4,645	$W_p$	0,600
$L_2$	1,610	$W_s$	0,385

Tabla 2. Dimensiones de la sección ridge senoidal y las corrugaciones.

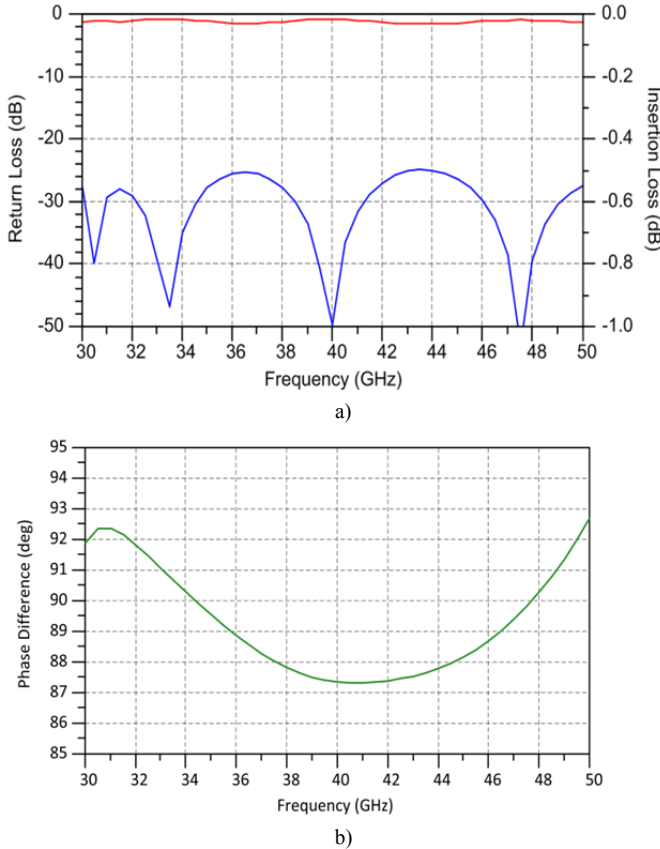


Fig. 5. Respuesta del Desfasador con sección ridge senoidal y corrugaciones. a) Pérdidas de Retorno y de Inserción (RL - azul; IL - rojo). b) Diferencia de Fase.

Como se puede apreciar en la Fig. 5, los resultados obtenidos en este segundo diseño son sensiblemente mejores. En este caso, los resultados muestran unas bajas pérdidas de inserción, una adaptadora mejor de 25 dB en toda la banda para la rama desfasadora y consiguiendo, con respecto a la rama referencia, un desfase centrado más o menos en  $90^\circ$ , con un error máximo en valor absoluto de  $2,5^\circ$ .

Una vez obtenidas las dimensiones del diseño se efectúa un estudio de sensibilidad de la estructura diseñada, también empleando el programa CST. Para ello se realiza un análisis de tolerancia en la mecánica de la estructura. En este caso se considera una tolerancia en las dimensiones de  $\pm 0,025$  mm para cada uno de las variables que definen el desfasador, empleando una distribución Gaussiana. Se obtienen los resultados que se muestran en la Fig. 6 y la Fig. 7, donde se representan los rangos de variación de las pérdidas de retorno y de la diferencia de fase, indicados por la zona sombreada de naranja.

Una vez realizado el estudio de sensibilidad, si examinamos los resultados, cabe resaltar que en el peor de los casos, se obtiene un valor de -18 dB para las pérdidas de retorno y un error máximo de  $+7,5^\circ$  y  $-5^\circ$  para la fase diferencial. No obstante si consideramos estos resultados dentro de la banda Q (33 - 50 GHz) el error máximo es de  $+4^\circ$  y  $-5^\circ$  respectivamente. Se puede concluir que el desfase del dispositivo es bastante sensible a la tolerancia mecánica de los parámetros, aunque el error se encuentra dentro de un valor aceptable.

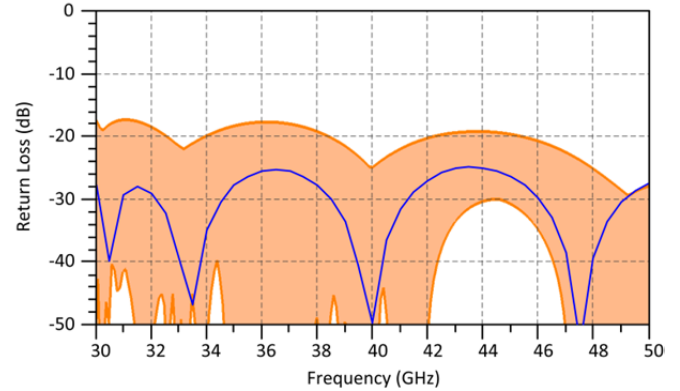


Fig. 6. Análisis de Sensibilidad en las Pérdidas de Retorno del Desfasador Diferencial, para una tolerancia de  $\pm 0,025$  mm.

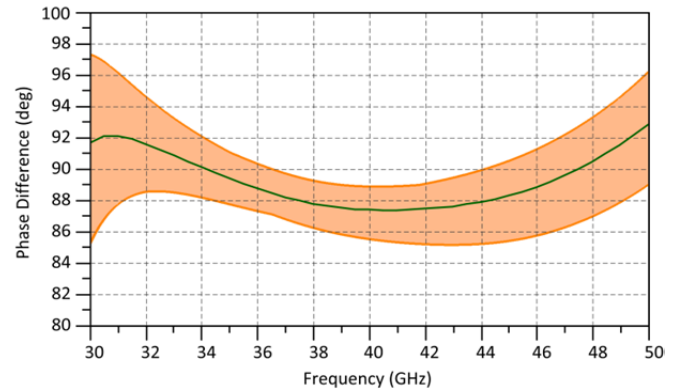


Fig. 7. Análisis de Sensibilidad en la Diferencia de Fase del Desfasador Diferencial, para una tolerancia de  $\pm 0,025$  mm.

### III. FABRICACIÓN Y MONTAJE

En este desfasador un punto muy importante del diseño es el proceso de fabricación del dispositivo, por lo que es preciso realizar una descripción de éste, debido a que es la causa fundamental de su bajo coste. En ambos diseños, la sección ridge que se encuentra dentro de la guía tiene forma senoidal, por lo que no se puede acotar para realizar su fresado mediante mecanizado con máquinas de control numérico. Debido a este contratiempo se decide realizar su fresado con la máquina de "drilling", máquina que se emplea en los procesos de fabricación de circuitos impresos, puesto que mediante el software del que se dispone en el grupo se puede exportar directamente esta forma y realizar su fabricación con dicha herramienta. Además no es coincidencia que el espesor de esta sección sea de 0,6 mm. Es cierto que se optimizó en un primer momento y se obtuvo un valor cercano, y al disponer en el laboratorio de una plancha de cobre de este espesor, se decidió fijar el valor  $W_p$  a 0,6 mm, y a partir de aquí se volvió a optimizar el resto de variables. El chasis se realiza por mecanizado en una máquina de control numérico,

por lo que la mecánica del resto de la estructura no es demasiado complicada.

Para realizar el montaje, y que la lámina que forma la sección ridge senoidal, quede bien ajustada en la estructura desfasadora, se emplean dos centradores, por lo que debe realizarse un rebaje en el chasis del dispositivo y alargar la pestaña hacia el interior del bastidor, de forma que quede bien encajada en dicho rebaje. Se pueden apreciar todos estos detalles en la Fig. 8.

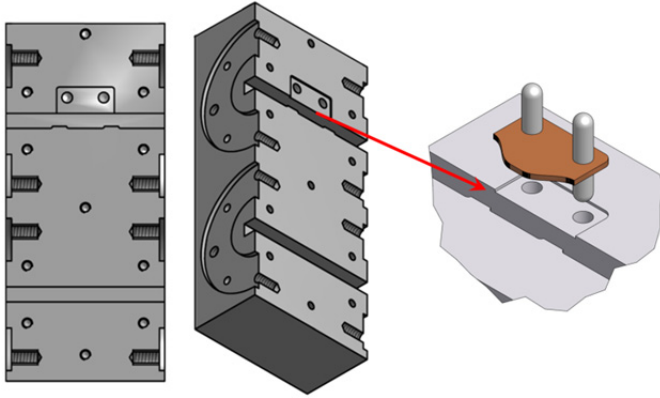


Fig. 8. Vista 3D de la parte inferior del chasis del Desfasador Diferencial de 90°, y montaje de la estructura de tipo ridge senoidal.

#### IV. CARACTERIZACIÓN

Una vez realizado el diseño y el estudio de sensibilidad, se procede a la caracterización del desfasador, en la Fig. 9 se muestran los resultados obtenidos en la medida.

En estos resultados obtenidos en la caracterización que se muestran en la Fig. 9, se puede apreciar que se obtienen unos buenos resultados con un desfase medio de 88° y un error de  $\pm 3^\circ$ , para unas pérdidas de retorno mejores de 20 dB y unas pérdidas de inserción medias de 0,1 dB en toda la banda de diseño.

Examinando bien los resultados, en la zona donde las pérdidas de retorno tienen su peor valor (unos 20 dB @ 42 GHz aproximadamente), se observa un ligero aumento de las pérdidas de inserción, a la vez que la diferencia de fase se desvía con respecto a la simulación. Esto es debido a que existen problemas de contacto entre la superficie del chasis y la placa metálica del interior de la guía. Para resolver este problema de contacto, como línea futura, se está realizando otro diseño similar pero variando el espesor de la placa para intentar mejorar este contacto.

#### V. CONCLUSIONES

En este documento se ha presentado el diseño, estudio de sensibilidad y caracterización de un desfasador diferencial de 90° en guía de onda en la banda Q (30-50 GHz). El desfasador propuesto y caracterizado es de diseño y fabricación sencillos, ya que se cuenta con un bajo número de parámetros a optimizar. El proceso de fabricación por mecanizado, emplea métodos sencillos y por tanto de bajo coste. Este desfasador diferencial presenta un ancho de banda relativo del 50% (30-50 GHz) con una respuesta media en fase de  $88^\circ \pm 3^\circ$ , un desequilibrio medio en amplitud menor de 0,1 dB y unas pérdidas de retorno mejores de 20 dB en toda la banda.

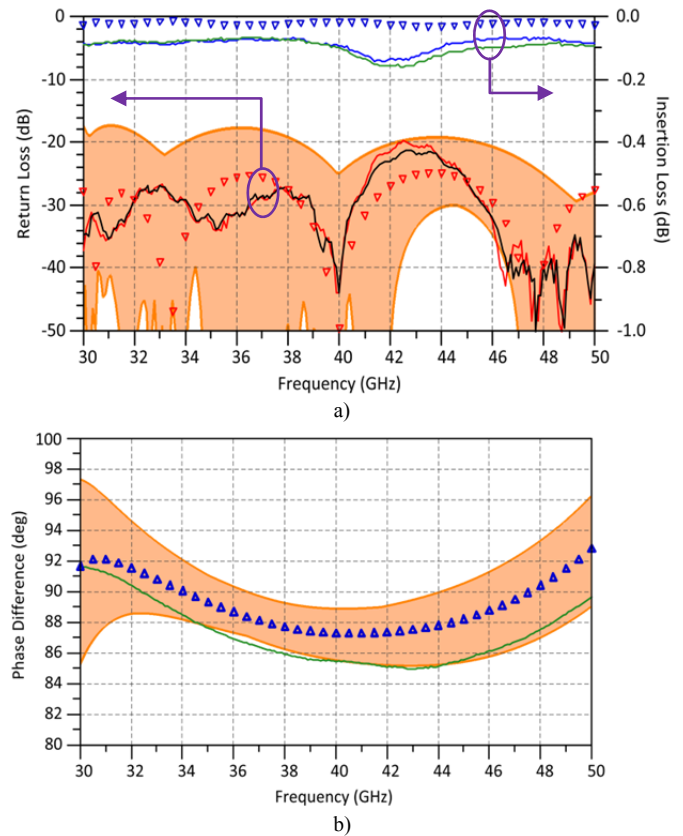


Fig. 9. Respuesta del desfasador de 90° en guía de onda (Tramo continuo: medida, marcas: simulación). a) Pérdidas de Retorno. b) Diferencia de Fase.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, mediante la ayuda AYA2010-21766-C03-03 y la del programa CONSOLIDER-INGENIO 2010, referencia CSD2010-00064.

#### REFERENCIAS

- [1].- F. Arndt, J. Bornemann, and R. Vahldieck, "Design of Multisection Impedance Matched Dielectric-Slab Filled Waveguide Phase Shifters." IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-32, pp. 34-39, Jan. 1984.
- [2].- F. Arndt, R. Frye, M. Wellnitz and R. Wirsing. "Double Dielectric Slab Filled Waveguide Phase Shifter." IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 33, No. 5, pp. 373-381, May 1985.
- [3].- M. Khalaj-Amirhosseini. "Wideband Differential Phase Shifters Using Waveguides Filled by Inhomogeneous Dielectrics." Progress In Electromagnetics Research Symposium, Beijing, China, pp. 1513-1516, March 2009.
- [4].- A. Mediavilla, J. A. Pereda, O. González, A. Casanueva, J. Helszajn and R. Levy. "Differential Phase Shifters Using Corrugated, Ridge, and Fin Loaded Waveguides." International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, Vol. 19, N° 5, pp 561-567, Sept 2009.
- [5].- J. Dittloff, F. Arndt and D. Grauerholz. "Optimum Design of Waveguide E-Plane Stub-Loaded Phase Shifters." IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, Vol. 36, N° 3, pp. 582-587, March 1988.
- [6].- M.N.Wong, J. D. Steele. "Broadband waveguide phase shift", US. Patent Number 4,654,611, March 1987.
- [7].- Sitio web del proyecto "Exploring the Physics of Inflation" (EPI): <http://epi-consolider.es>
- [8].- A. Tribak, A. Mediavilla, K. Cepero, M. Boussouis, M. Chaibi. "Desfasadores Diferenciales 90° y 180° Banda Completa (40%) en Guía de Onda para Aplicaciones de Radioastronomía." XXIV Symposium Nacional de la Unión Científica de la Radio (URSI'09).